

चार बुनियादी बल

श्रीनिवासन कृष्णन

प्रकृति में चार बुनियादी बल संसार की सभी ज्ञात अन्तर्क्रियाओं को निर्धारित करते हैं। ये चार बल क्या हैं? वे कैसे उत्पन्न होते हैं? चार ही क्यों और अधिक क्यों नहीं? यह लेख, बुनियादी चार बलों के गुणों का वर्णन करते हुए, इनमें से कुछ सवालों की छानबीन करता है, और यह देखता है कि वे किस तरह हमारे दैनिक जीवन को आकार देते हैं।

बल हमारे चारों ओर काम करते रहते हैं। वे विविध प्रकारों और रूपों में आते हैं। उदाहरण के लिए, जो भी चीज ऊपर की ओर फेंकी जाती है वह गुरुत्वाकर्षण के बल के कारण अपरिहार्य रूप से वापिस नीचे आती है, हम एक-दूसरे पर धक्का देने या खींचने के बल लगाते हैं, वाहनों के चलने में कई स्प्रिंग सड़कों के उभारों या गड्ढों के कष्टदायक झटकों के असर को कम करते हैं, चुम्बकीय बल जो रहस्यपूर्ण तरीके से काम करते हुए कम्पास (दिशासूचक यंत्र) की सुई को हमेशा उत्तर की सीध में कर देते हैं, समुद्री तूफानों के द्वारा प्रदर्शित बल, वे चमत्कारिक रूप से शक्तिशाली विघटन के बल जो परमाणु बमों के द्वारा पैदा होते हैं इत्यादि। यह सूची तो व्यावहारिक रूप से अन्तहीन है।

परन्तु, यह दर्शाने वाले अत्यधिक प्रमाण हैं कि ये सभी विविध बल, वास्तव में, केवल **चार** बुनियादी बलों के स्वरूपों को प्रकट करते हैं (हालाँकि इनकी संख्या को सिर्फ दो तक सीमित कर देने के लिए पर्याप्त सैद्धान्तिक प्रमाण हैं, पर बेहतर होगा कि उन्हें कभी बाद के लिए बचा लिया जाए)। केवल चार ही क्यों? इसका सीधा-सा उत्तर है कि हमारे पास इसके लिए ही प्रमाण उपलब्ध हैं। प्रकृति में काम करने वाले ये चार बल हैं (सबसे शक्तिशाली से सबसे कमजोर के क्रम में) - शक्तिशाली बल, विद्युत चुम्बकीय बल, कमजोर बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल। हम विद्युतीय तथा चुम्बकीय बलों (अब इन्हें एक ही बल, जिसे विद्युत चुम्बकीय बल कहते हैं, के दो पहलुओं की तरह देखा जाता है), और साथ ही गुरुत्वाकर्षण के बल के बारे में बहुत प्राचीन समय से जानते रहे हैं। इसके विपरीत, दो अन्य बलों - शक्तिशाली तथा कमजोर बलों - की खोज केवल पिछली सदी में ही हुई। इस

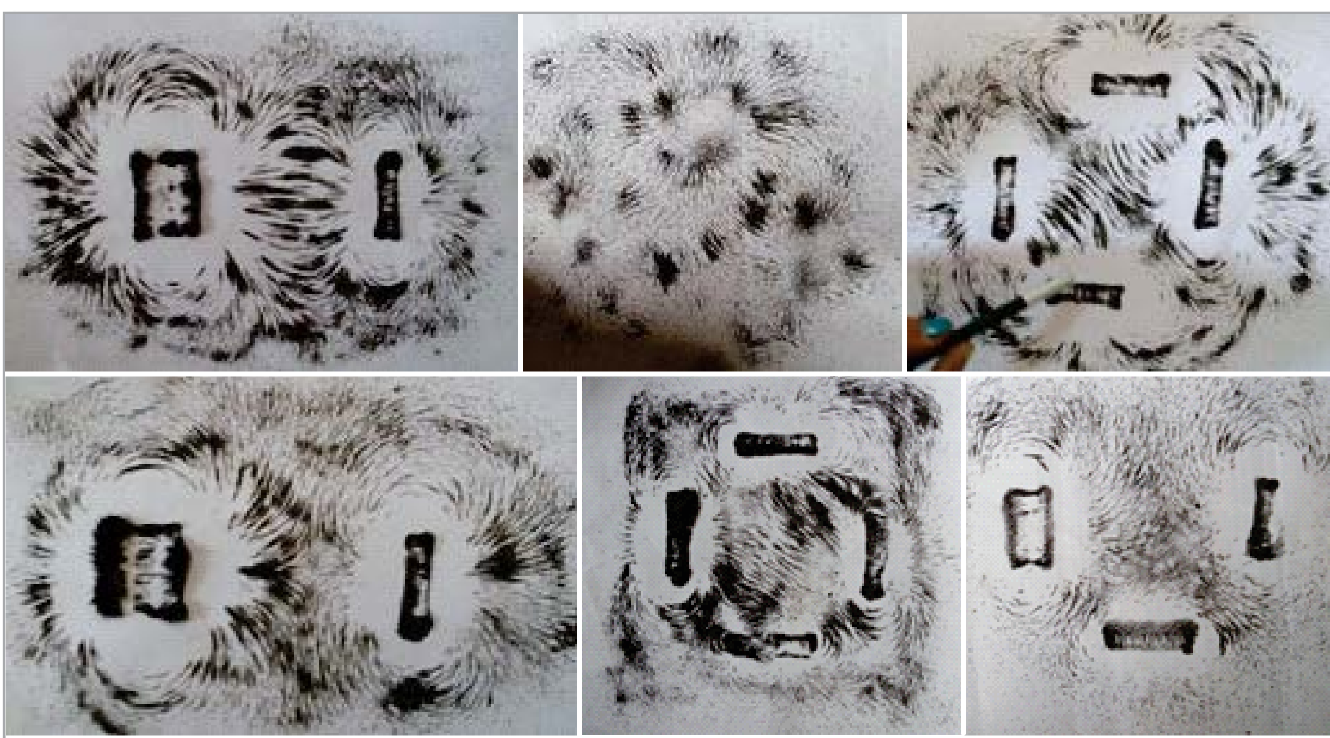
खोज ने प्राथमिक कणों (प्रोटॉनों, न्यूट्रॉनों, इलेक्ट्रॉनों तथा उनके बीच की अन्तर्क्रियाओं) के संसार को देखने के हमारे नजरिए में, और सबसे अधिक महत्त्वपूर्ण बात है कि परमाणु शक्ति का दोहन करने की हमारी क्षमता में, नाटकीय परिवर्तन ला दिया है।

बलों की धारणा का स्थान अब ज्यादातर **क्षेत्रों (फील्ड्स)** की अवधारणा ने ले लिया है। क्षेत्र एक ऐसा प्रभाव होता है, जो अन्तरिक्ष (स्पेस) के किसी हिस्से में एक या अनेक कणों के द्वारा पैदा किया जा सकता है, और जो अन्य कणों पर कोई बल लगा सकता है। फील्ड के एक उदाहरण के लिए, चुम्बकों का इस्तेमाल करने वाली निम्नलिखित गतिविधि पर नजर डालें।

प्रयोग : दूरी पर काम करने वाला चुम्बकीय प्रभाव

दो चुम्बक लें। क्रमशः उनके उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुवों को चिन्हित कर दें। अब चुम्बकों को मेज पर इस तरह रखें कि उन दोनों चुम्बकों के उत्तरी ध्रुव (या दक्षिणी ध्रुव) एक-दूसरे के आमने-सामने हों। यह सुनिश्चित कर लें कि वे एक-दूसरे से पर्याप्त दूर हों ताकि उनमें से कोई हिले नहीं। फिर धीरे-धीरे दोनों को पास लाएँ जब तक कि आपको दोनों चुम्बकों के बीच एक विकर्षण न महसूस होने लगे, और उनमें अपने आप एक-दूसरे से दूर हटने की प्रवृत्ति न दिखाई देने लगे। अब उनके बीच की दूरी को दर्ज कर लें। इस प्रयोग को ज्यादा ताकतवर और कमजोर चुम्बकों के साथ दोहराएँ। इस प्रयोग का एक दूसरा स्वरूप विरोधी ध्रुवों को एक-दूसरे के सामने करके किया जा सकता है (सावधान रहें, क्योंकि यदि चुम्बक पर्याप्त रूप से ताकतवर हैं तो वे आसानी से टूट सकते हैं)। इस बदले हुए प्रयोग में भी इसका अवलोकन करें कि दोनों चुम्बकों के अपने आप एक-दूसरे की ओर गति करना शुरू करने के लिए उन्हें कितनी दूरी पर रखना पड़ता है।

इन प्रयोगों से यह स्पष्ट हो जाएगा कि दोनों चुम्बक एक-दूसरे की उपस्थिति को तब भी महसूस कर सकते हैं जब उनके बीच में कोई भौतिक सम्पर्क नहीं होता। किसी चुम्बक का यह गैर-भौतिक प्रभाव ही उसका **चुम्बकीय क्षेत्र (मैग्नेटिक फील्ड)** कहलाता है। जैसे ही पहला चुम्बक दूसरे चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश करता है, वह एक बल का अनुभव करता है (और दूसरा चुम्बक भी ऐसा ही अनुभव करता है)। इस क्षेत्र को **देखना** काफी आसान है। चुम्बक को एक कड़क कागज के नीचे रखिए और उस कागज के ऊपर बारीक लोहे को रेतने से बने चूरे को छिड़किए। इस चूरे के कण अपने को ऐसी संरचनाओं (पैटर्नों) में व्यवस्थित कर लेंगे जो दो आयामी कागज पर चुम्बकीय क्षेत्र की आकृति को स्पष्ट रूप से दर्शाएँगी। हम दो या दो से अधिक चुम्बकों और लोहे के चूरे के



चित्र 1 : एक कागज की शीट के नीचे चुम्बकों को रखकर उस पर लोहे के चूरे से बनी चुम्बकीय क्षेत्र की रेखाओं की कुछ तस्वीरें। क्या आप ऊपर के चित्र में एक-दूसरे के सामने रखे गए विरोधी ध्रुवों को पहचान सकते हैं?

साथ यह प्रयोग कर सकते हैं, जिससे हमें **चित्र 1** में दर्शाई गई तस्वीरों जैसी आकृतियाँ प्राप्त होंगी।

बलों की अवधारणा के स्थान पर क्षेत्रों की अवधारणा का इस्तेमाल करने के सबसे महत्त्वपूर्ण कारणों में से एक यह है कि क्षेत्रों की अवधारणा हमें यह समझा सकने का एक सुन्दर तरीका प्रदान करती है कि किस तरह विन्यास में किए गए किन्हीं भी परिवर्तनों, जैसे कि परिमाणों या आवेशों के परिवर्तनों, को किसी दूसरी जगह पर कितनी **जल्दी** महसूस किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, यदि सूर्य अचानक गायब हो जाए, तो पृथ्वी पर काम करने वाला उसका गुरुत्वाकर्षण बल एकाएक शून्य हो जाएगा। लेकिन हमें इसका पता एकदम उसी समय न लगकर लगभग 8 मिनट बाद चलेगा (प्रकाश को सूर्य से यहाँ तक की यात्रा करने में इतना समय लगता है), क्योंकि यह **परिवर्तन**, पहले से मौजूद गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में से होकर, प्रकाश की गति से सम्प्रेषित किया जाता है।

गुणधर्मों और प्राथमिक कणों का क्षेत्र

वास्तव में, उपरोक्त चारों बलों में से प्रत्येक किसी ऐसे खास गुण को निरूपित करता है जो कि उन कणों में होता है जिनके द्वारा वह बल पैदा किया जाता है और अनुभव किया जाता है। उदाहरण के लिए, गुरुत्वाकर्षण का बल केवल ऐसे कणों के बीच काम करता है जिनमें वह गुण होता है जिसे **मात्रा या द्रव्यमान (मास)** कहते हैं। विद्युत चुम्बकीय बल केवल ऐसे कणों पर काम करता है जिनमें **विद्युतीय आवेश** होता है। शक्तिशाली बल केवल ऐसे कणों पर काम करते हैं जिनमें वह गुण होता है जिसे वैज्ञानिक **कलर** कहते हैं (यहाँ यह शब्द कलर अर्थात रंग के हमारी आँखों के द्वारा होने वाले बोध के अर्थ से बिलकुल भिन्न है - परन्तु जाहिर है कि वे लोग जो इसका नामकरण कर रहे थे कोई भिन्न रोचक नाम नहीं सोच पाए)। और अन्त में, कमजोर बल केवल ऐसे कणों पर काम करते हैं जिनमें वह गुण होता है जिसके लिए हमने **फ्लेवर** नाम चुना है (एक बार फिर से इसका फ्लेवर अर्थात स्वाद की हमारी सामान्य समझ से कोई सम्बन्ध नहीं है)। ये गुण एक-दूसरे से स्वतंत्र माने जाते हैं, अर्थात एक गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र किसी कलर के गुण में हस्तक्षेप नहीं कर सकता और एक चुम्बकीय क्षेत्र किसी कण के द्रव्यमान में हस्तक्षेप नहीं कर सकता। परन्तु प्रत्येक प्रकार की फील्ड जो ऊर्जा उत्पन्न कर सकती है, उसे आसानी से एक रूप से दूसरे रूप में बदला जा सकता है। उदाहरण के लिए, गुरुत्वाकर्षण की ऊर्जा को चुम्बकीय ऊर्जा में, या शक्तिशाली बल के द्वारा पैदा की गई ऊर्जा को विद्युतीय ऊर्जा में बदला जा सकता है (जैसा कि एक परमाणु संयंत्र में

> प्राथमिक कणों के एक शानदार परिचय के लिए देखें:
> 1.पार्टिकिल डाटा ग्रुप ऑफ द लारेंस बर्कले नैशनल लेबोरेटरी (एलबीएनएल)।
> URL: http://particleadventure.org/ या
> 2. सीईआरएन (सर्न) आउटरीच साइट।
> URL: http://home.cern/students-educators

होता है), और इसके अन्य उदाहरण भी हो सकते हैं।

प्राथमिक कणों के भौतिक विज्ञान का जन्म, सम्भवतः 1897 में, जे. जे. थामसन के द्वारा इलेक्ट्रॉन की खोज के साथ हुआ था। फिर 1914 में रदरफोर्ड ने प्रयोग के द्वारा दर्शाया कि किसी परमाणु का धनात्मक आवेश (और करीब-करीब उसका पूरा द्रव्यमान) उसके केन्द्र के एक सूक्ष्म क्षेत्र, जिसे न्यूक्लियस (नाभिक) कहते हैं, में घने रूप में संचित होता है। उसके काफी समय बाद, जब एकबारगी चौडविक के द्वारा 1932 में न्यूट्रॉन को खोज लिया गया, तब इस प्रश्न, कि "पदार्थ किस चीज का बना होता है?", का उत्तर बहुत सरलता से यह कहकर दिया जा सकता था कि वह "इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों" से बना होता है। एक परमाणु के स्वरूप को दर्शाने वाली तस्वीर के लिए **चित्र 2** को देखें।

आप आश्चर्य में पड़ सकते हैं कि प्रोटॉन किस तरह से सूक्ष्म नाभिक (जिसका आकार 10^{-15} मीटर के लगभग होता है) के भीतर इकट्ठे रह सकते हैं, यह जानते हुए कि वे एक-दूसरे को बहुत ताकत से विकर्षित करते हैं। युकावा[1] ने 1934 में यह मान्यता प्रस्तावित की कि कुछ मध्यस्थ कणों की आपसी अदल-बदल की अन्तर्क्रिया के कारण, जिसे **शक्तिशाली** बल कहा जाता है क्योंकि उसे (कूलम्ब) विकर्षण के बल का हरण करना पड़ता है, ऐसा होना सम्भव था। इसी प्रकार, रेडियोधर्मी सक्रिय नाभिकों के द्वारा बीटा क्षरण, जिसके परिणामस्वरूप नाभिक से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं, को समझाने के लिए फर्मी ने अत्यन्त छोटी दूरी पर काम करने वाली एक अन्य आपसी अदल-बदल की अन्तर्क्रिया की मान्यता प्रस्तावित की, जिसे **कमजोर** अन्तर्क्रिया कहा जाता है (इससे कहीं आप ऐसा तो सोचने नहीं लगे कि नाभिक के भीतर इलेक्ट्रॉन मौजूद होते होंगे? यह कतई सही नहीं है। प्रायोगिक रूप से नाभिक की सीमाओं के भीतर कभी भी इलेक्ट्रॉनों को नहीं देखा गया है, पर फिर भी वे वहाँ से उत्सर्जित होते हैं)। ये शक्तिशाली और कमजोर अन्तर्क्रियाएँ उन (नाभिकीय) अभिक्रियाओं में महत्त्वपूर्ण भूमिकाएँ निभाती हैं जो परमाणु संयंत्रों तथा परमाणु

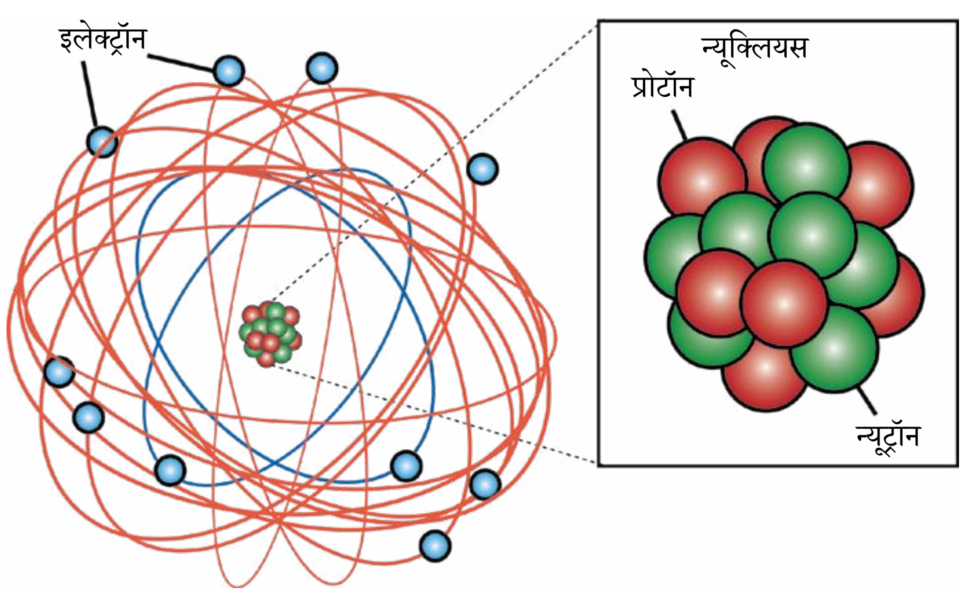
बमों के भीतर घटित होती हैं। उदाहरण के लिए, सूर्य के कोर (केन्द्रीय भाग) में ये बल चार हाइड्रोजन परमाणुओं से हीलियम के नाभिक के बनने को सुगम बनाते हैं, और उसके फलस्वरूप वह अत्यधिक ऊर्जा निकलती है जो पृथ्वी पर जीवन के लिए नितान्त आवश्यक है। हम आगे इन अदल-बदल की अन्तर्क्रियाओं को अधिक विस्तार से देखेंगे।

अवलोकन किए गए प्राथमिक कणों की संख्या 1932 में केवल तीन थी। लेकिन 1960 तक, यह संख्या लगभग एक जंगल के जैसी हो गई थी। इसके अलावा, यह परिकल्पना भी की गई कि प्रत्येक कण का एक तदनुरूप **विरोधी कण (एन्टीपार्टिकिल)** भी होगा। एक एन्टीपार्टिकिल इस प्रकार का होता है कि यदि उसकी भेंट उसके पार्टिकिल से हो जाए, तो वे दोनों एक-दूसरे को नष्ट कर देंगे और इस प्रक्रिया में विद्युत चुम्बकीय विकिरण पैदा करेंगे। ये कण भी प्रायोगिक रूप से खोजे जा रहे थे। भली बात यह है कि ये सभी कण तीन प्रमुख समूहों में वर्गीकृत किए जा सकते हैं, जिन्हें बेरियोन्स ('हैवी वेट्स'), मीसोन्स ('मिडिल वेट्स') तथा लैपटोन्स ('लाइट वेट्स') कहा जाता है। बेरियोन्स तथा मीसोन्स को सामूहिक रूप से हेड्रोन्स कहा जाता है।

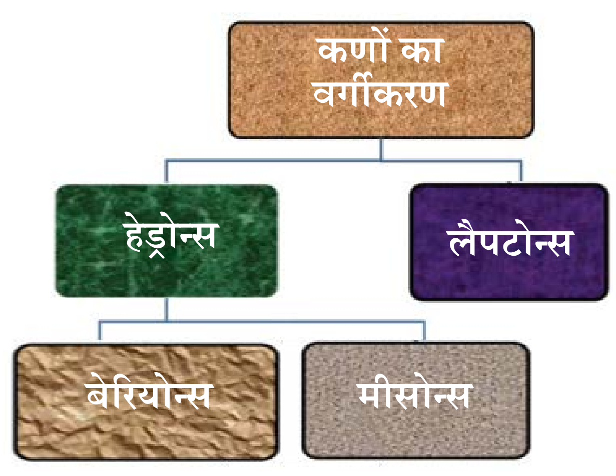
बेरियोन्स के कुछ उदाहरणों में, हमें भली-भाँति ज्ञात प्रोटॉन्स तथा न्यूट्रॉन्स और कम ज्ञात लैम्बडा, सिग्मा और डेल्टा कण शामिल हैं। मीसोन्स के कुछ उदाहरणों में पियोन्स, केओन्स, ईटास तथा अन्य शामिल हैं। अन्त में, लैप्टोन्स के कुछ उदाहरणों में इलेक्ट्रॉन तथा हमारे लिए कम परिचित मुओन्स, टौओन्स, न्यूट्रिनोस इत्यादि शामिल हैं। यह याद रखें कि इन सभी कणों के तदनुरूप विरोधी कण[2] भी होते हैं।

इन सभी कणों (और विरोधी कणों) की, और साथ ही उन अन्तर्क्रियाओं की, जो इनके व्यवहार को नियंत्रित करती हैं, समझ विकसित करने के लिए ही कण भौतिकी (पार्टिकिल फिजिक्स) के **मानक प्रतिरूप (स्टैंडर्ड मॉडल)** को प्रतिपादित किया गया। यह प्रतिरूप प्रतिपादित करता है कि सभी हेड्रोन्स और भी अधिक आधारभूत कणों, जिन्हें क्वार्क्स कहते हैं, से मिलकर बने होते हैं और छह प्रकार के प्रमुख **फ्लेवरों** में पाए जाते हैं। इन फ्लेवरों को अप (यू), डाउन (डी), स्ट्रेंज (एस), चार्म (सी), ब्यूटी (बी) तथा ट्रुथ (टी) नाम दिए गए। ऐसा माना जाता है कि क्वार्कों के इन फ्लेवरों में से प्रत्येक तीन 'कलर्स', रैड (लाल), ग्रीन (हरा) और ब्लू (नीला), में पाया जाता है। इनके विरोधी कणों, एन्टी-क्वार्कों को एन्टी-कलर्स, अर्थात एन्टी-रैड (जिसे माइनस रैड या सायन भी कहते हैं), एन्टी-ग्रीन (माइनस ग्रीन या मैजेंटा), एन्टी-ब्लू (माइनस ब्लू या यलो) नाम दिए गए हैं। इसलिए, इस प्रतिरूप में क्वार्कों की कुल संख्या (और एन्टी-क्वार्कों की भी) 18 होती है।

माना जाता है कि सभी बेरियोन्स आपस में बँधे तीन क्वार्कों से मिलकर बने होते हैं। इसी प्रकार, एन्टी-बेरियोन्स भी तीन एन्टी-क्वार्कों से मिलकर बनते हैं। मीसोन्स को एक क्वार्क तथा



चित्र 2 : एक परमाणु के स्वरूप की तस्वीर। गौर करें कि इलेक्ट्रॉन की कक्षाएँ आकृति में वृत्ताकार नहीं होतीं। न्यूक्लियस में केवल प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन होते हैं और इलेक्ट्रॉन उसके बाहर चक्कर लगाते हैं। यह चित्र पैमाने के अनुसार नहीं है, और कक्षाओं की आकृति केवल उन्हें निरूपित करने के लिए है।



चित्र 3 : यहाँ हमें ज्ञात सभी कणों (प्रयोगशाला में सैकड़ों का अवलोकन किया गया है) का बहुत सरल वर्गीकरण दर्शाया गया है। उल्लेखनीय बात यह है कि निरपवाद रूप से सभी कण उपरोक्त वर्गीकरण योजना में समाहित हो जाते हैं। ।

एक एन्टी क्वार्क के बँधे हुए जोड़े से मिलकर बना हुआ माना जाता है। माना जाता है कि सभी **अवलोकन किए गए** कणों में एक विशुद्ध परिणामी 'कलर' होता है, जो कि या तो व्हाइट, अर्थात रैड, ग्रीन तथा ब्लू की या उनके एन्टी-कलर्स की बराबर मात्राओं के फलस्वरूप, होता है या फिर वह शून्य होता है जहाँ रैड तथा एन्टी-रैड की और इसी प्रकार दूसरे कलर्स की बराबर मात्राएँ होती हैं। इसके कुछ उदाहरणों के लिए **चित्र 4** को देखें।

लैप्टानों के कलर्स नहीं होते। यही कारण है कि शक्तिशाली बल का लैप्टानों पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता, हालाँकि ये कण कमजोर बल, गुरुत्वाकर्षण के बल और विद्युत चुम्बकीय बल के द्वारा प्रभावित होते हैं।

मुक्त क्वार्कों का **प्रकृति में अवलोकन नहीं किया गया है।** परन्तु, प्रयोगों ने दर्शाया है कि प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की तीन अंगों वाली एक सूक्ष्म संरचना होती है, और यह तथ्य क्वार्क प्रतिरूप को कुछ विश्वसनीय बनाता है। इस प्रतिरूप का उपयोग करके प्रस्तुत किए गए सभी पूर्वानुमानों को वैध पाया गया है। और यह आमतौर पर माना जाता है कि यह स्टैंडर्ड मॉडल सभी प्राथमिक कणों और उनकी अन्तर्क्रियाओं का बहुत अच्छी तरह वर्णन करता है।

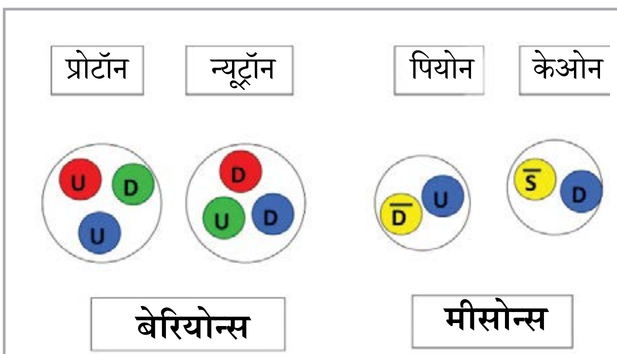
अन्तर्क्रियाओं की प्रकृति : मैसेंजर्स तथा फैब्रिक्स (सन्देशवाहक तथा ताने-बाने)

विद्युत चुम्बकीय, कमजोर तथा शक्तिशाली क्षेत्र (फील्ड्स) किस तरह उत्पन्न होते हैं, और वे किस तरह कणों के बीच होने वाली अन्तर्क्रियाओं को सुगम बनाते हैं? यह प्रतिपादित किया गया है कि प्रत्येक फील्ड को आपस में अदल-बदल करने वाले कणों, जिन्हें 'मैसेंजर्स (सन्देशवाहक)' कहा जाता है, की मदद से क्रिया करने वाली माना जा सकता है, ये मैसेंजर्स अन्तर्क्रिया करने वाले दो कणों के बीच बल का आदान-प्रदान करते हैं। विद्युत चुम्बकीय क्षेत्रों के लिए, परस्पर एक-दूसरे को प्रभावित करने वाले दो आवेशों के बीच में आगे-पीछे होते हुए, फोटोन सन्देशवाहकों की तरह काम करते हैं (क्या आप समझ सकते हैं कि यह तस्वीर किस तरह से आवेशों के बीच के आकर्षण और विकर्षण दोनों को समझाने के लिए इस्तेमाल की जा सकती है?)। शक्तिशाली बल के लिए आठ सन्देशवाहक कण होते हैं, जिन्हें **ग्लूओंस** कहा जाता है। कमजोर बल के लिए, केवल तीन सन्देशवाहक कण होते हैं, जिन्हें **वैक्टर बोसोन्स** कहा जाता है। इन सन्देशवाहकों के संक्षिप्त विवरण के लिए नीचे दी गई तालिका को देखें।

गुरुत्वाकर्षण के क्षेत्र को आजकल किस तरह समझाया जाता है? जैसा कि अन्य तीनों क्षेत्रों को समझाया जाता है, उसी प्रकार यह प्रतिपादित किया गया है कि गुरुत्वाकर्षण भी एक सन्देशवाहक के द्वारा ले जाया जाता है, जिसे ग्रेविटोन कहते हैं लेकिन अभी तक इसको खोजा नहीं गया है। परन्तु, गुरुत्वाकर्षण वास्तव में अन्य तीनों क्षेत्रों से बहुत भिन्न है। ऐसा क्यों है यह समझने के लिए हम एक सरल प्रयोग को देखें जिसका नीचे वर्णन किया गया है।

प्रयोग : हम गुरुत्वाकर्षण को निरस्त कैसे करते हैं?

यह आश्चर्यजनक रूप से आसान है। **चित्र 5** में दिए गए बाएँ



चित्र 4 : ऊपर प्रस्तुत उदाहरण कुछ बेरियोन्स तथा मीसोन्स की क्वार्कों के रूप में संरचना दर्शाते हैं। उनको घेरने वाली परिधि दर्शाती है कि ये सभी क्वार्क वास्तव में आपस में बँधे हुए हैं। यहाँ दर्शाए गए क्वार्क यू, डी, तथा एस क्वार्क हैं, और उनके एन्टी-क्वार्क एन्टी-डी और एन्टी-एस हैं।

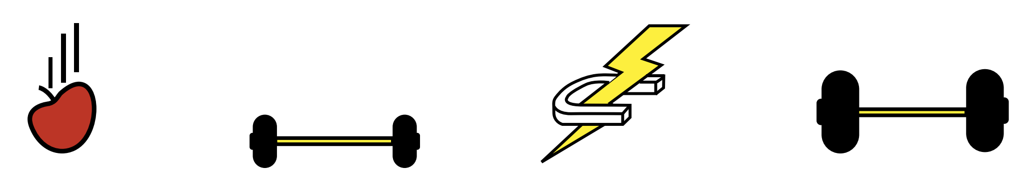
हिस्से को देखिए। उसमें एक बन्द बोतल के भीतर भार एक स्प्रिंग से लटक रहा है। चूँकि गुरुत्वाकर्षण उस भार पर काम कर रहा है, इसलिए जाहिर है कि स्प्रिंग फैली हुई है। अब यदि बोतल को ऊपर से छोड़ा जाता है और मुक्त रूप से गिरने दिया जाता है तो वह भार ऊपर चढ़ जाता है जैसे कि स्प्रिंग कतई फैली नहीं हो, और तब तक ऊपर ही रहता है, जब तक कि बोतल नीचे जमीन पर नहीं आ जाती। यह दर्शाता है कि **स्प्रिंग तथा बोतल के सापेक्ष** तब तक कोई गुरुत्वाकर्षण बल काम नहीं कर रहा होता जब तक बोतल गिर रही होती है। इसलिए, व्यापक रूप से कहें तो किसी वस्तु पर उसके एकदम आसपास के वातावरण के सापेक्ष गुरुत्वाकर्षण को निरस्त करने के लिए, हमें उस वस्तु और उसके आसपास के वातावरण को मुक्त रूप से गिरने की अवस्था पाने में सक्षम बनाना जरूरी है। मानव यात्रियों को ले जाने वाले अन्तरिक्ष में विचरण कर रहे किसी उपग्रह के भीतर ऐसा ही होता है, जब अन्तरिक्ष यात्री और उसका उपग्रह पृथ्वी का चक्कर लगा रहे होते हैं, और इसलिए मुक्त रूप से गिरने की अवस्था में होते हैं। इसीलिए, अन्तरिक्ष यात्री को उपग्रह के सापेक्ष किसी गुरुत्वाकर्षण का अनुभव नहीं होता और वे मुक्त भाव से उसके भीतर तैरते रहते हैं।

अन्य चीजों के अलावा, इस प्रयोग के परिणाम के आधार पर ही, आइंस्टीन ने अपनी जनरल थ्योरी ऑफ रिलेटिविटी (सापेक्षता का व्यापक सिद्धान्त) का प्रतिपादन किया। यह सिद्धान्त कहता है कि गुरुत्वाकर्षण केवल अंतरिक्ष-समय (स्पेस-टाइम) के **फैब्रिक (ताने-बाने)** में किसी द्रव्यमान के द्वारा उत्पन्न विकृति (कंटोर्शन) भर होता है। आप इसे किसी तनी हुई झिल्लीनुमा सतह, जैसे कि एक ट्रैंपोलीन, पर कोई भारी वस्तु, जैसे कि एक बास्केटबॉल, रखकर समझ सकते हैं। ट्रैंपोलीन का स्वरूप अब बिगड़ जाता है या कहें कि उसमें ऐसा झोल आ जाता है कि यदि आप उस पर कुछ कंचे डालें तो वे बास्केटबॉल की ओर सीधे लुढ़कने के बजाय अन्य मार्गों से लुढ़केंगे। ये वक्राकार मार्ग भी हो सकते हैं जो बास्केटबॉल को घेरते हुए जाएँ या वे सीधी रेखा के रूप में भी हो सकते हैं।

इसी समरूपता को यदि हम सौर मण्डल तथा अन्तरिक्ष में अन्य स्थानों पर लागू करें, तो फिर ग्रहों की कक्षाएँ केवल ऐसे मार्ग होती हैं जो सूर्य के कारण पैदा हुई अन्तरिक्ष की वक्रता के कारण निर्मित होती हैं, और इस दृष्टि से गुरुत्वाकर्षण का कोई वास्तविक बल (या फील्ड - क्षेत्र) मौजूद नहीं होता। तब, जैसा कि **चित्र 6** में दर्शाया गया है, गुरुत्वाकर्षण को स्पेस-टाइम में आई विकृति के रूप में देखा जा सकता है।

अन्तर्क्रियाओं की प्रकृति : शक्ति और दायरा

इन चार क्षेत्रों की शक्ति कितनी होती है? एक-दूसरे के सापेक्ष वे कितने ताकतवर या कमजोर होते हैं? क्या वे दूरी के साथ बदलते हैं? हम इन चार क्षेत्रों को निम्न तरीके से क्रमबद्ध कर सकते हैं। कल्पना कीजिए कि दो प्राथमिक कण, जैसे कि प्रोटॉन, एक-दूसरे के अगल-बगल रख दिए गए हों। यदि उनके बीच काम करने वाले शक्तिशाली बल को एक काल्पनिक मान 1 दिया जाए, तो हम पाएँगे कि उनके बीच के विद्युत चुम्बकीय विकर्षण बल का मान 0.001 होगा, अर्थात वह शक्तिशाली बल की तुलना में हजारवें भाग बराबर कमजोर होगा। कमजोर बल का सापेक्ष मान तब 10^{-14} होगा, अर्थात वह पहले बल की अपेक्षा सौ ट्रिलियन गुना कमजोर होगा। और अन्त में उन दो



	गुरुत्वाकर्षण	**कमजोर** (इलेक्ट्रोवीक)	**विद्युत चुम्बकीय** (इलेक्ट्रोमैग्नैटिक)	**शक्तिशाली**
जिनके द्वारा परिवहन किया जाता है	ग्रैविटोन (अभी तक इसका अवलोकन नहीं किया गया है)	$w^+ \; w^- \; z^0$	फोटोन	ग्लूओन
	सभी	क्वार्क्स तथा लैप्टान्स	क्वार्क्स तथा आवेशित लैप्टान्स एवं $w^+ \; w^-$	क्वार्क्स एवं ग्लूओंस

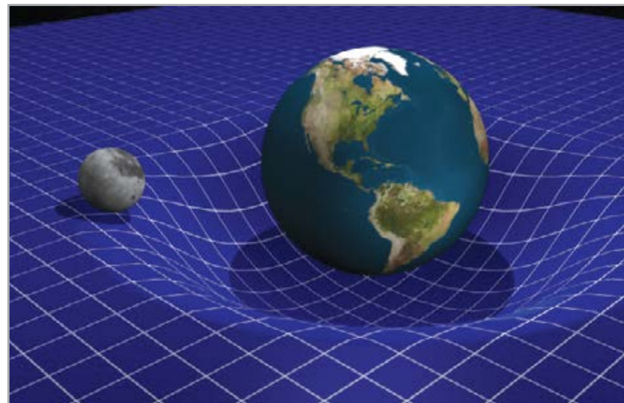
तालिका 1 : दूसरी पंक्ति में उन मध्यस्थ कणों की सूची दी गई है जो उन बलों को उत्पन्न करते हैं जिनका हम अनुभव करते हैं, और साथ ही उनको भी (जो परमाणु से भी सूक्ष्म स्तर पर कार्य करते हैं) जिनका हम अनुभव नहीं करते। हमें शक्तिशाली और कमजोर बलों के लिए इतने मध्यस्थों की जरूरत क्यों पड़ती है?



चित्र 5 : ऊपर का हिस्सा : प्रयोग का स्वरूप, नीचे का हिस्सा - वास्तविक प्रयोग। बाईं तरफ एक स्थिर बोतल के अन्दर स्प्रिंग से लटकता हुआ एक भार दर्शाया गया है। दाएँ तरफ के चित्रों में उसी बोतल को मुक्त रूप से गिरते हुए दिखाया गया है - गौर करें कि यहाँ स्प्रिंग खिंची हुई नहीं है। यह दर्शाता है कि भार पर काम करने वाला गुरुत्वाकर्षण का बल बोतल तथा स्प्रिंग के सापेक्ष यहाँ निरस्त हो जाता है।

प्रोटॉनों के बीच के गुरुत्वाकर्षण के बल का सापेक्ष मान 10^{-43} होगा, अर्थात वह दस ट्रैडसिलियन गुना कमजोर होगा!

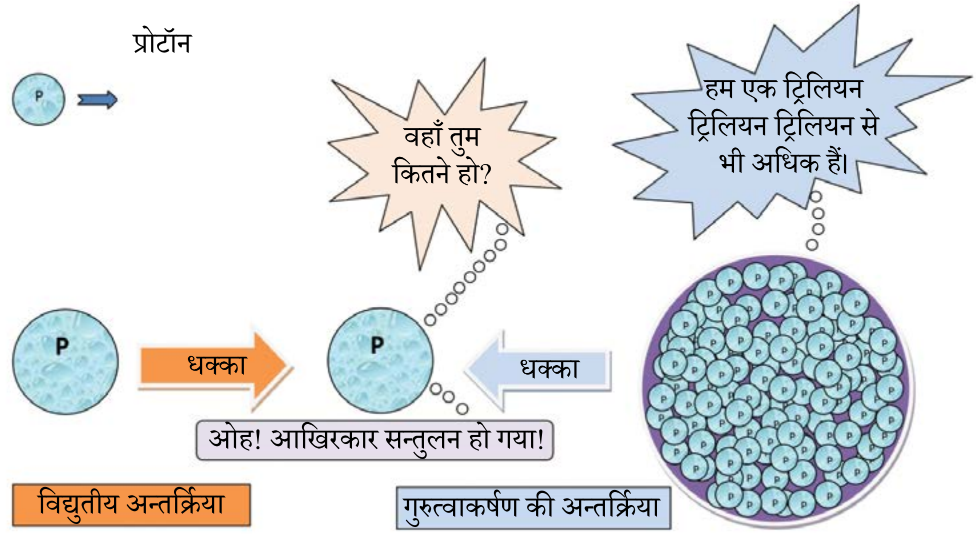
हमारे जीवन में विद्युत चुम्बकीय बल शायद सबसे महत्त्वपूर्ण बल होता है। इसका प्रमुख कारण यह है कि इलेक्ट्रॉन जो न्यूक्लियस के चारों ओर चक्कर लगाते हैं, एक-दूसरे को विकर्षित करते हैं। फिर इसका मतलब यह हुआ कि यदि दो परमाणु एक-दूसरे के बहुत ज्यादा नजदीक आने की कोशिश करते हैं तो वे ऐसा कर ही नहीं सकते। पदार्थ के सभी गुण, जिनमें खिंचाव और धकेलने के वे सभी बल शामिल हैं जिनसे हम सबसे ज्यादा परिचित होते हैं, प्रमुख रूप से परमाणुओं



चित्र 6 : गुरुत्वाकर्षण स्पेस-टाइम में आई विकृति होती है जिसे यहाँ एक अक्षीय संरचना (कोऑर्डिनेट सिस्टम - उसके जाल की रेखाओं को देखिए) के रूप में चित्रित किया गया है। यह अक्षीय संरचना ही ग्रह के द्रव्यमान से विकृत हो जाती है।
Source: This has been taken from https://i.ytimg.com/vi/cxgHz5H4AHA/maxresdefault.jpg and https://www.youtube.com/watch?v=cxgHz5H4AHA.

के बीच के इस प्रभाव के कारण ही पैदा होते हैं। चूँकि ये गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव से 10^{40} गुना जितने विराट रूप से अधिक होते हैं, इससे यह स्पष्ट हो जाता है कि हमें धरातल पर बनाए रखने के लिए पृथ्वी, जो कि आवेश की दृष्टि से लगभग उदासीन होती है, जैसे विशाल द्रव्यमान की जरूरत होती है जिससे हमारे ऊपर पर्याप्त गुरुत्वाकर्षण का खिंचाव काम कर सके। विद्युतीय बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना के लिए **चित्र 7** को देखें।

गुरुत्वाकर्षण तथा विद्युत चुम्बकीय, दोनों क्षेत्रों का दायरा अनन्त होता है। इन बलों से दूर हटकर उनसे छूट पाने का कोई तरीका नहीं है। परन्तु, आप जितनी दूर जाएँगे वे उतने ही कमजोर होते जाएँगे, लेकिन वे कभी भी शून्य नहीं हो सकते (हाँ, यह जरूर है कि हम किन्हीं खास बिन्दुओं पर ऐसे बलों को निरस्त कर सकते हैं, लेकिन वह और बात है क्योंकि वह करने के लिए हमें अन्य द्रव्यमानों या आवेशों की जरूरत पड़ेगी)। इसके विपरीत, शक्तिशाली तथा कमजोर क्षेत्रों का दायरा बहुत छोटा होता है, वे आमतौर पर केवल न्यूक्लियस के आकार, जो लगभग 10^{-15} मीटर होता है, की दूरियों तक काम करते हैं। इस दूरी से परे, वे शून्य हो जाते हैं। इसलिए इन दोनों प्रकार के बलों से प्रभावित होने के लिए प्राथमिक कणों को बहुत छोटी दूरियों पर अन्तर्क्रिया करने के लिए मजबूर होना पड़ता है। चूँकि तापमान और दबाव की सामान्य परिस्थितियों में परमाणु एक-दूसरे के इतने निकट नहीं आ सकते, इसलिए हम प्रत्यक्ष रूप से इन बलों का अनुभव नहीं कर सकते।



चित्र 7 : विद्युतीय तथा गुरुत्वाकर्षण के बलों की तुलना करना। बीच में दर्शाए गए प्रोटॉन पर कुल मिलाकर कोई अन्तिम बल नहीं है। बाईं तरफ से उसे एक अन्य प्रोटॉन द्वारा केवल विद्युतीय बल का उपयोग करते हुए धकेला जा रहा है। दाईं तरफ, उसे प्रोटॉनों के एक समूह के द्वारा केवल गुरुत्वाकर्षण के बल का प्रयोग करते हुए धकेला जा रहा है। दोनों बलों को सन्तुलित करने के लिए, और उसके लिए आवश्यक गुरुत्वाकर्षण के बल की शक्ति प्रदान करने के लिए, दाईं तरफ हमें जितने प्रोटॉनों की जरूरत है वह 1.25 ट्रिलियन ट्रिलियन ट्रिलियन अर्थात 1.25×10^{36} प्रोटॉन हैं।

सार रूप में कहें तो हम देखते हैं कि बहुत हद तक विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र ही ग्रहों के आकार और उनके अवयवीय संघटन को निर्धारित करता है। आमतौर पर उपयोग की जाने वाली प्रौद्योगिक प्रणालियाँ भी इस क्षेत्र पर निर्भर करती हैं। शक्तिशाली और कमजोर बल तारों को, उनकी कोरों के भीतर बहुत उच्च तापमानों पर नाभिकीय विघटन को सम्भव बनाकर, शक्ति देते हैं। वे ही बल परमाणु बमों और परमाणु ऊर्जा संयंत्रों में शक्ति उत्पन्न करके उनको संचालित करते हैं। गुरुत्वाकर्षण का बल ब्रह्माण्ड में देखे जा सकने वाले सभी सबसे महत्त्वपूर्ण पिण्डों और संरचनाओं को पैदा करता है, जैसे कि तारे, आकाशगंगाएँ, आकाशगंगाओं के समूह आदि। इन सभी संरचनाओं में चकित करने वाले परिमाणों में, आवेश की दृष्टि से बहुत हद तक उदासीन, पदार्थ होता है। गुरुत्वाकर्षण के क्षेत्र ही ब्रह्माण्ड की सबसे अधिक ऊर्जा प्रदर्शित करने वाली घटनाओं, जैसे कि गामा किरणों के विस्फोट, सुपरनोवा आदि के लिए भी प्रत्यक्ष रूप से जिम्मेदार होते हैं। इसका कारण यह है कि पदार्थ की पर्याप्त रूप से विशाल मात्रा अन्य तीनों बलों से बहुत अधिक शक्तिशाली बल पैदा कर सकती है, और विरोधाभासी बात है कि वह ऊर्जा की विराट मात्राओं को गति प्रदान कर सकती है। इसलिए पर्याप्त रूप से भारी होने में कुछ तो महत्त्वपूर्ण है।

निष्कर्ष

कणों के बीच में होने वाली ये चार बुनियादी अन्तर्क्रियाएँ पदार्थ के अवलोकन किए गए अधिकांश गुणधर्मों का वर्णन करने के लिए पर्याप्त रही हैं, परन्तु यह असम्भव नहीं है कि भविष्य में कोई अन्य बल ऐसी आधारभूत स्थिति में आसीन हो जाएँ। उदाहरण के लिए, हाल का ब्रह्माण्डीय प्रमाण दर्शाता है कि ज्ञात ब्रह्माण्ड के 96% हिस्से में एक भिन्न प्रकार का पदार्थ और ऊर्जा, दोनों हो सकते हैं, जिन्हें क्रमशः डार्क मैटर (स्याह पदार्थ) तथा डार्क इनर्जी (स्याह ऊर्जा) कहा जाता है। ऐसा अनुमान लगाया जाता है कि डार्क मैटर का एक आकर्षित करने वाला गुरुत्वाकर्षण बल होता है, और डार्क इनर्जी का ऐसा बल होता है, जो एक विकर्षित करने वाले गुरुत्वाकर्षण बल जैसा दिखाई देता है। उन्हें डार्क कहा जाता है क्योंकि सामान्य पदार्थ के विपरीत वे विद्युत चुम्बकीय तरंगों को अवशोषित और उत्सर्जित नहीं करते। इसकी काफी सम्भावना है कि इन डार्क बलों का ज्ञान अनेक अन्य क्षेत्रों के द्वार खोल सकता है। ऐसा लगता है कि अभी खोजने के लिए बहुत-सी चौंकाने वाली बातें शेष हैं!

References

1. 'Introduction to Elementary Particles', by David Griffiths, John Wiley and Sons, New York.
2. Review of Particle Physics, Chinese Physics C Vol. 38, No. 9 (2014) 090001, Particle Data Group. See http://pdg.lbl.gov/2015/html/computer_read.html

श्रीनिवासन कृष्णन ने 2000 में आई.यू.सी.ए.ए., पुणे से एस्ट्रोफिजिक्स में अपनी पीएच.डी. की उपाधि हासिल की, जिसके बाद वे भौतिकशास्त्र तथा विज्ञान के शिक्षक की तरह एक छोटे स्कूल से जुड़ गए। उनकी वर्तमान रुचियों में पढ़ना और छोटे बच्चों के लिए प्रयोगशाला के उपकरण डिजाइन करना शामिल हैं। उनसे ksrini69@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** भरत त्रिपाठी